

O USO DO BIOMONITORAMENTO NO DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS AMBIENTAIS

Paulo Oliveira Borges¹

RESUMO: *Este trabalho procura demonstrar a viabilidade e eficiência do uso de bioindicação como método de diagnóstico da qualidade ambiental de diferentes ecossistemas (terrestres e aquáticos).*

Palavras-chave: Bioindicação; Gestão ambiental; Qualidade ambiental.

1- INTRODUÇÃO

“Há algo profundamente errado em tratar a terra como se ela fosse um negócio em liquidação”.

Herman Daly, Economista, Banco Mundial¹

Desde que o homem descobriu o fogo, ele altera a atmosfera, pois ao cozinhar, queimar a mata para limpar o terreno ou mesmo aquecer-se ele faz com que o carbono dos combustíveis (madeira) acabe se integrando à atmosfera. Com a revolução industrial esse problema se agravou, uma vez que muitos dos processos industriais necessitam da energia dos combustíveis fósseis.

A industrialização aumentou o uso dos recursos naturais e deslocou compostos estocados no subsolo para a atmosfera, o solo e as águas superficiais, e colocou inúmeras substâncias sintetizadas industrialmente em circulação, mas que apresentam altos níveis de toxicidade e são de difícil degradação. São muitos os exemplos, que vão dos hidrocarbonetos da indústria de petróleo aos metais pesados responsáveis por inúmeros danos aos seres vivos, incluindo os seres humanos. Esses compostos, que acabam se acumulando na atmosfera, nas águas superficiais e subterrâneas e no solo podem danificar a vida de modo irreversível. Mesmo as substâncias que já existem na natureza e que apresentam uma modificação em suas concentrações podem prejudicar os seres vivos. Há uma continuidade físico-química entre os diversos compartimentos do mundo natural, o que jogamos na atmosfera acaba afetando o solo através da deposição dessas substâncias e de sua acumulação nos corpos dos seres vivos, o que jogamos na água acaba indo parar na atmosfera por meio da volatilização e assim acaba entrando nos ciclos biogeoquímicos, alterando todos os seres vivos do planeta. Sendo assim, a poluição apresenta efeitos sistêmicos e cumulativos que só podem ser detectados ou previstos através de análises mais abrangentes, tendo ficado comprovada a ineficácia do paradigma cartesiano e das engenharias tradicionais na resolução destes problemas.

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) define poluição como:

[...]qualquer substância que possa tornar o meio ambiente impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna, à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade[...]⁶

¹ Pós-Graduando em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - campus Itapetinga. Orientadora: Professora Alexilda Oliveira Souza

Neste sentido, qualquer substância que possa causar esses efeitos em virtude de sua liberação no ambiente ou simplesmente por meio do aumento de sua concentração é considerada um poluente. Alguns autores usam uma definição mais abrangente. Von Sperling, citado por Monkolski²¹, define poluição das águas como:

[...]a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos.²¹

Mas os poluentes podem ser divididos em primários e secundários. Os poluentes primários são eliminados diretamente da fonte poluidora e ficam estocados no ar, solo ou águas com a mesma formulação em que são produzidos. Os poluentes secundários são aqueles que são formados na atmosfera através de reações fotoquímicas. Um exemplo de poluentes primários seriam os óxidos de nitrogênio(NO_x); já o Ozônio (O₃) é o exemplo clássico de poluente secundário.

Alguns dos efeitos dessas substâncias sobre os seres vivos são ainda desconhecidos por se tratarem de substâncias com as quais a biota nunca havia entrado em contato anteriormente, muitas dessas substâncias podem ser mutagênicas (causadores de mutações), cancerígenas ou ainda teratogênicas (causadores de defeitos congênitos)⁷. Além disso, muitos compostos orgânicos sintéticos têm sido encontrados em concentrações relativamente elevadas em tecidos de peixes e outros animais aquáticos, especialmente daqueles localizados em rios e lagos próximos a grandes centros industriais⁷.

Algumas espécies, por serem especialmente sensíveis a algum tipo de poluente específico ou à mudança na sua concentração, acabam sendo utilizadas como indicadores ambientais, são os chamados bioindicadores.

“Bioindicadores são espécies escolhidas por sua sensibilidade ou tolerância a vários parâmetros”⁷.

O monitoramento da qualidade ambiental com o uso de bioindicadores pode ser um instrumento de significativa importância para a gestão ambiental, conforme demonstrado em Lanna³:

A gestão ambiental é uma atividade voltada para formulação de princípios e diretrizes, estruturação de sistemas gerenciais e tomada de decisões, tendo por objetivo final promover, de forma coordenada o uso, proteção, **conservação e monitoramento** dos recursos naturais e sócio-econômicos em um determinado espaço geográfico, com vistas ao desenvolvimento sustentável³ (Grifo Nosso).

As ações da gestão ambiental são orientadas pela política ambiental que no Brasil foi instituída pela lei nº 6.938 de 31/08/1981 e regulamentada pelo decreto nº. 88.351, de 01/01/1983. Os principais instrumentos da gestão ambiental adequada do espaço são: **Avaliação de Impacto Ambiental, Zoneamento Ambiental e Gerenciamento de Bacia hidrográfica**. E é na **Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)** e no **Gerenciamento de Bacia Hidrográfica (GBH)** que o uso de bioindicadores é potencialmente aplicável, uma vez que ambos servem justamente para, entre outras atividades, o “monitoramento dos recursos ambientais”³. Alguns autores associam os problemas ambientais brasileiros à inadequações nos processos de gestão ambiental³ e que se deve dar atenção especial ao desenvolvimento de instrumentos de gestão que possibilitem promover, de forma coordenada, o uso, proteção, conservação e monitoramento dos recursos naturais³. A verificação do cumprimento de leis e portarias (exemplo portaria nº. 36 do Ministério da Saúde de 19 de janeiro de 1990.)⁷ que estabelecem padrões de qualidade da água pode se tornar mais fácil e menos dispendioso com o uso de bioindicadores.

Biomonitoramento ou bioindicação, é a utilização de qualquer ser vivo que tenha seu comportamento modificado ou seu desenvolvimento prejudicado por um estressor de origem antrópica. Segundo Buss et al, “Biomonitoramento pode ser definido como o uso sistemático das respostas de organismos vivos para avaliar as mudanças ocorridas no ambiente”⁸.

Um bioindicador é um “organismo selecionado com os quais se pode amostrar, testar e responder questões sobre o ambiente.”⁶

Em relação aos métodos físico-químicos, o biomonitoramento ainda depende de muitos estudos para ser implementado com segurança uma vez que se faz necessário o conhecimento da fisiologia e da ecologia dos seres vivos utilizados, bem como da dinâmica dos ecossistemas estudados, para que os efeitos dos poluentes não possam ser confundidos com alterações naturais e ou sazonais na quantidade e no comportamento dos organismos.

Para alguns organismos (ver tabela 1), no entanto, já existe metodologia bem segura para sua aplicação no biomonitoramento ativo ou passivo do meio ambiente. É o caso de plantas como a *Nicotiana Tabacum* Var. Bel-w3, uma variedade de tabaco muito sensível a concentrações de ozônio que ultrapassem os 30 ppb.

Como os bioindicadores são muito específicos em relação a alterações de padrões ambientais (ver tabela 2), “é possível estabelecer índices específicos para detectar derramamento de óleo, poluição orgânica, alteração de PH da água, lançamento de pesticidas, entre outros.”⁷

Existem duas metodologias básicas para a bioindicação:

No biomonitoramento ativo, colocam-se os bioindicadores nos locais onde se deseja detectar ou quantificar um poluente específico e verifica-se seu efeito sobre o bioindicador, confirmando-se ou não a sua presença em concentrações deletérias.

O biomonitoramento ativo pode ser feito também no laboratório, visando-se determinar as concentrações limites e os valores padrão para as concentrações dos poluentes, a partir das quais ocorrem alterações no bioindicador.

Já o biomonitoramento passivo consiste em verificar na biota local os efeitos dos poluentes. Para ser realizado, esse tipo de biomonitoramento exige que se tenham realizadas compilações das informações sobre o ecossistema e a fisiologia do bioindicador. Esse se constitui no maior desafio atualmente para que se possam implantar redes de biomonitoramento, uma vez que no Brasil existe uma carência de pesquisa básica sobre diversos ecossistemas e sua respectiva biota, inclusive para a detecção de possíveis bioindicadores.

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Bioindicadores da qualidade da água

De todos os males ambientais, a contaminação das águas é o que apresenta conseqüências mais devastadoras. A cada ano, 10 milhões de mortes são, diretamente, atribuídas a doenças intestinais transmitidas pela água. Um terço da humanidade vive em estado contínuo de doença ou debilidade como resultado da impureza das águas; o outro terço está ameaçado pelo lançamento de substâncias químicas nas águas, cujos efeitos em longo prazo são desconhecido.

- Philip Quigg, Water: The Essential Resource ³

O monitoramento ambiental da qualidade da água é importante por se tratar de um recurso fundamental para a manutenção da saúde e estar se tornando escasso em sua forma potável. Apenas “2,6 % da água Mundial é doce, desta apenas 0,59% está no estado líquido já que o restante (1,98%) está no estado sólido compondo geleiras”³. Além disso, o consumo mundial de água aumentou mais de seis vezes em menos de um século⁴ e os recursos hídricos

tendem a se tornar mais escassos, devido aos processos de uso e de poluição crescentes⁴. “A ação antrópica tem aumentado as oscilações dos ambientes aquáticos, permitindo a liberação indiscriminada de agentes poluidores”²³. Das atividades antrópicas, a agricultura é a principal consumidora e uma das principais poluidoras dos recursos hídricos, sendo a salinidade e a contaminação por nitrato os principais indicadores de poluição das águas⁴. As fontes poluidoras da água são de diversas naturezas e podem ser classificadas em pontuais ou difusas. Fontes pontuais compreendem a descarga de efluentes a partir de indústrias e estações de tratamento de esgoto, dentre outras⁷. As fontes difusas apresentam características bastante diferenciadas. Elas se espalham por inúmeras localidades e são difíceis de serem determinadas em função de serem intermitentes e apresentarem um amplo espectro de abrangência⁷, já que incluem os escoamentos superficiais urbanos e rurais, deposição atmosférica entre outros.

Não são apenas os recursos hídricos terrestres que são considerados importantes para o homem, mas também os recursos hídricos de origem oceânica, principalmente costeira, já que as regiões litorâneas abrigam grande parte da população mundial e são responsáveis pela grande produtividade pesqueira mundial⁵; assim esses ambientes, e principalmente as praias, são monitorados por inúmeras instituições como a CETESB, que passou a utilizar desde 2001 um programa de monitoramento que utiliza os foraminíferos como bioindicadores na avaliação dos impactos ambientais no meio marinho⁵. No estado da Bahia, não se instituiu ainda o monitoramento ambiental das praias para determinar seu grau de contaminação pelas águas usadas por banhistas, o que pode ser considerado uma falha grave já que o estado é um dos principais destinos do turismo interno e externo, e que muitos municípios não apresentam saneamento básico, sendo os poluentes orgânicos de origem sanitária transportados muitas vezes até a desembocadura dos rios, podendo chegar às praias.

“O Biomonitoramento com organismos indicadores, principalmente em rios, começou a ser utilizado no início do século XX”⁶ e tem ganhado importância devido principalmente ao aumento na escassez de fontes limpas de água para abastecimento e irrigação, o que pode levar ao aumento no custo da água fornecida para a população em diferentes centros urbanos já que o custo do tratamento tem relação direta com o grau de contaminação da água das fontes naturais.

Dada a utilização antrópica descontrolada, os recursos hídricos têm sido muito afetados por atividades como agricultura, industrialização e urbanização. A agricultura contribui com o acréscimo de substâncias como agrotóxicos, defensivos agrícolas e adubos químicos, cujo potencial poluidor depende de sua forma de utilização e da quantidade utilizada. As formas tradicionais de monitoramento são baseadas em análises físicas e químicas, o que exige uma quantidade de insumos, equipamentos e pessoal altamente qualificado para sua realização. Tudo isso envolve, então, custos muito elevados, o que torna esta metodologia impossível de ser aplicada em larga escala.

No entanto, nas últimas décadas surgiram técnicas que se baseiam no conhecimento da fisiologia e ecologia de organismos que utilizam a água como meio de vida, dispersão e reprodução. Esses organismos podem “tornar-se numericamente dominantes somente sob conjunto específico de condições ambientais”². “Outros organismos possuem grande sensibilidade a qualquer alteração ambiental e tornam-se raros ou mesmo ausentes em sistemas com algum nível de poluição.”⁶ “Os macroinvertebrados bentônicos respondem de acordo com a magnitude do evento tóxico, que pode não ser analisado por métodos químicos se a água não for amostrada durante o evento”². Em geral espera-se uma redução no número de táxons em locais poluídos²¹, no entanto se o poluente for de origem orgânica a maior disponibilidade de alimentos pode provocar alterações na composição das comunidades, inclusive determinando o aumento no número de táxons ou a prevalência numérica de alguns táxons resistentes à poluição.

Os macroinvertebrados bentônicos são considerados ideais na avaliação de impactos antropogênicos sobre as águas porque são animais que respondem a perturbações em todos os ambientes aquáticos e em todos os períodos; existe um grande número de espécies que oferecem um amplo espectro de respostas, a natureza relativamente sedentária de várias espécies, apresenta facilidade de coleta e identificação.

As informações sobre a abundância de determinados tipos de espécies de macroinvertebrados bentônicos, a utilização de índices de diversidade e a análise de agrupamentos (Cluster) em determinado ambiente aquático podem fornecer informações específicas sobre o tipo de poluição e sua magnitude (Tabela 2) que não podem ser aferidos por sistemas tradicionais (análise bacteriológica e físico-química da água), pois as respostas dos seres vivos não são momentâneas, estando esses sujeitos aos efeitos cumulativos de determinados poluentes que não são desconsiderados quando se usa a abordagem tradicional. Também é importante que lembrar o uso de biomonitoramento ativo ou passivo pode revelar efeitos sinérgicos de dois ou mais poluentes ou revelar o surgimento de poluentes secundários, o que pode não ser passível de detecção na abordagem físico-química devido à especificidade dos métodos. Além de afetar a composição da comunidade, a qualidade da água pode afetar individualmente os organismos. No caso específico dos oligoquetos, “alterações na conformação das cerdas podem ser verificadas em ambientes poluídos”⁶. Desta maneira, podemos esperar uma demanda cada vez maior por esses métodos biomonitores, uma vez que a preocupação com a conservação dos recursos hídricos tem levado as autoridade a formularem programas de controle, monitoramento e recuperação da qualidade das águas das bacias hidrográficas.

“Mesmo em casos de lançamentos contínuos dentro das normas estabelecidas por lei, o uso da biota aquática é uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água”⁷. Isso demonstra o enorme potencial da aplicabilidade do biomonitoramento da poluição das águas como ferramenta para os órgãos governamentais responsáveis pelo controle e pela gestão dos recursos naturais.

Vale ressaltar também que muitos tipos de poluentes afetam os seres vivos em mais de um nível, poluentes atmosféricos podem chegar às águas de lagos e rios através da chuva ácida, e material particulado ou metais pesados podem atingir o solo e as águas subterrâneas, ocasionando um enorme problema ambiental. Como se vê, a poluição não apresenta fronteiras nítidas e normalmente não se delimita a uma única parte do ambiente, assumindo caráter sistêmico, sendo necessária, portanto, uma abordagem mais ampla na busca de soluções para esses problemas.

2.2 - Bioindicadores da qualidade do ar

Até bem pouco tempo se acreditava que as alterações introduzidas na atmosfera pelo homem eram recentes, admitia-se que começaram com a revolução industrial, novos estudos têm demonstrado que na verdade essa alteração antrópica da atmosfera pode ser bem mais antiga, tendo se iniciado há pelo menos oito mil anos¹¹, quando o homem começou a atividade agricultora. Esses efeitos foram muito intensificados nos últimos dois séculos, quando o uso da máquina a vapor e depois dos motores a combustão interna movidos a combustíveis derivados de petróleo, lançaram muitos milhões de toneladas/ano na atmosfera. Corson (1996) cita que:

“[...]em 1980 as atividades humanas lançaram na atmosfera cerca de 110 milhões de toneladas de óxido sulfúrico, 69 milhões de toneladas de óxidos nitrogenados, 193 milhões de toneladas de monóxido de carbono, 57 milhões de toneladas de hidrocarbonetos e 59 milhões de toneladas de material particulado”¹².

Os principais compostos poluentes atmosféricos são: óxidos de enxofre (SO_x), Óxidos nitrogenados (NO_x), Monóxido de carbono (CO), Compostos organovoláteis (COVs), Ozônio, Névoa densa, Dióxido de Carbono (CO_2), Clorofluorcarbonetos, material particulado (MP) e Chumbo.

Os óxidos de enxofre, principalmente o dióxido de enxofre, são liberados ou produzidos por diversas atividades humanas, mas a de maior importância é sem dúvida a queima de combustíveis fósseis para produção de energia elétrica nas usinas termelétricas. Esse gás combina-se com a umidade do ar e participa da formação da chuva ácida. Sua produção Global subiu seis vezes desde o início do século XX, no entanto os países desenvolvidos têm conseguido reduzir em até 60% a quantidade de SO_2 emitida nos últimos anos¹².

Os óxidos de nitrogênio são originados tanto por fontes naturais como atividades antrópicas. Aproximadamente metade do NO_x antrópico é emitido por veículos automotores.

O monóxido de carbono (CO) pode atuar no organismo das pessoas e dos animais dificultando o transporte de O_2 e causando asfixia e morte, como também tem efeito sobre a destruição da camada de ozônio e contribui para o efeito estufa.

Os COVs (compostos organovoláteis ou hidrocarbonetos) são originados da queima incompleta de combustíveis fósseis e alguns deles podem provocar câncer, mutações ou defeitos congênitos¹².

O ozônio (O_3) é um poluente secundário, formado na atmosfera a partir de reações fotoquímicas envolvendo NO_x e ou COVs¹². O ozônio é um gás muito reativo e oxidante de cor levemente azul e irritante às mucosas e prejudicial à saúde de plantas e animais¹⁵. O ozônio troposférico é um poluente, mas na estratosfera ele filtra os raios ultravioletas do sol, evitando os efeitos deletérios dos mesmos e protegendo assim a vida na terra. Sua concentração na estratosfera tem sido reduzida em determinadas partes do globo por causa da ação dos CFCs e aumentada na troposfera por causa do aumento nas concentrações de NO_x e COVs.

O ozônio se forma a partir da ocorrência de reações fotoquímicas onde a luz ultravioleta pode favorecer sua formação e degradação. Ele também pode ser formado quando se força o oxigênio (O_2) a passar por um tubo metálico ao qual se aplica uma grande diferença de voltagem. As reações que formam o ozônio na atmosfera estão descritas abaixo.



Na equação (1) podemos perceber que a luz ultravioleta é requerida para a ocorrência da liberação de oxigênio molecular (O), o qual reage em seguida com o gás oxigênio presente na atmosfera, formando o ozônio (2). Já na equação (3) podemos perceber que o NO pode atuar consumindo também o ozônio. Por esse motivo ozônio troposférico é um gás que tende a se formar em grande centros urbanos e se acumular em locais mais preservados onde a ausência de NO_x impede sua degradação.

A névoa densa não é um poluente específico, mas uma mistura de poluentes, principalmente ozônio e Nitrato peroxiacetil (NPA) formados quando a luz do sol age sobre COVs e NO_x . É extremamente prejudicial à saúde, principalmente durante o verão.

O Dióxido de carbono (CO_2) é produzido principalmente pela queima de combustíveis fósseis, madeira e outros materiais orgânicos e é também liberado durante a respiração animal e decomposição de matéria orgânica, tendo sua concentração aumentado muito nos últimos dois séculos. Ele é um dos principais gases de efeito estufa.

Os Clorofluorcarbonetos ou CFCs, são gases muito usados na indústria de refrigeração e espumas, mas que provocam danos severos à camada de ozônio e contribuem com o aquecimento global; seu uso tem sido restringido e atualmente já se produzem equipamento sem CFCs e já existem técnicas de reciclagem desses gases para evitar que escapem para a atmosfera.

O material particulado é constituído de materiais sólidos e líquidos que podem formar de finos aerossóis a partículas maiores. As partículas menores são mais danosas à saúde, pois podem provocar danos aos olhos e aos pulmões¹².

O chumbo pode provocar diversos danos ao meio ambiente e à saúde humana quando em altas concentrações. Em animais e humanos ele afeta gravemente o sistema nervoso e excretor. Em plantas ele pode inibir a respiração e a fotossíntese¹².

Inúmeras instituições de controle da qualidade ambiental já utilizam métodos biomonitoradores para a qualidade do ar. Existem leis para controle da emissão de poluentes que datam de 1860 na Inglaterra e na Alemanha. O uso de biomonitoradores da qualidade do ar já é aplicado com segurança em diversos locais do mundo, e na Europa já existe uma rede de biomonitoramento para alguns poluentes, principalmente ozônio, que é realizada pela EUROBIONET, que é uma rede formada por diversas instituições de pesquisa e aplicam o biomonitoramento para identificar pontos críticos e variações sazonais no continente.

No Brasil, essa técnica já foi utilizada e é desenvolvida principalmente na análise de poluentes atmosféricos como ozônio, enxofre, flúor entre outros, para os quais usam-se biomonitoradores sensíveis ou acumuladores. A (CETESB) Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo está atualmente desenvolvendo um programa de biomonitoramento de ozônio com o uso de *Nicotiana Tabacum* Bel-w3 na região metropolitana e em algumas cidades do interior paulista. Fialho (1998), citando Pompéia (1997), relata que ainda na atualidade pouco se conhece sobre espécies e comunidades vegetais tropicais, em termos dos efeitos dos contaminantes aéreos sobre espécies e seu grau de tolerância¹⁹, donde se conclui que existe a necessidade de incremento das pesquisas nesta área.

A qualidade do ar nas grandes cidades tem sido motivo de preocupação em todo o mundo, principalmente após algumas pesquisas terem demonstrado que a poluição atmosférica tem afetado as populações de diversas formas^{9,10}.

2.3 - Bioindicadores da qualidade dos solos

A qualidade dos solos e seu grau de degradação e contaminação têm recebido pouca ênfase em pesquisas com biomonitoradores. No entanto algumas substâncias, quando presentes no solo em quantidades elevadas, podem provocar efeitos visíveis em plantas de determinadas variedades não tolerantes.

Wowk & Melo, em estudo realizado para determinar o teor de contaminação por chumbo em solo próximo a uma indústria que reciclava baterias automotivas, chamam a atenção para o fato de que:

Dentre as principais preocupações quanto aos efeitos dos metais pesados aos solos, destacam-se: a participação desses elementos na cadeia alimentar, redução da produtividade agrícola devido a efeitos fitotóxicos, acumulação no solo, alteração da atividade microbiana e contaminação dos recursos hídricos¹⁷.

Sabemos que alguns metais pesados podem provocar senescência e dificultar o crescimento em plantas, e também que algumas plantas são bioacumuladoras de determinados elementos provenientes de gases tóxicos ou presentes no solo⁵. Poderíamos então utilizar estas plantas como biomonitoradores desses elementos no solo.

Normalmente existe um conjunto de características físicas do solo que só podem ser avaliadas por métodos físico-químicos. O uso de bioindicadores para análise do solo ainda não está bem estabelecido, sendo necessárias pesquisas mais avançadas e de maior abrangência para que se criem ou aperfeiçoem metodologias. Desta forma faremos um breve resumo dos principais trabalhos já realizados na área, procurando compilar os dados existentes para tornar a informação disponível mais sistematizada.

Um estudo de grande relevância foi realizado por Domingos(1998), que pesquisando o acúmulo de flúor em plantas de *Tibouchina pulchra* Cogn.⁵, verificou a ocorrência de absorção de fluoretos pelas raízes e sua incorporação à biomassa das folhas com concomitante redução do crescimento da planta. No entanto verificou-se também que *T. pulchra* parece apresentar uma relativa tolerância ao acúmulo destes poluentes, o que faz com que esta espécie apresentasse uma certa dominância em locais poluídos¹⁹. Demonstra-se assim que mudanças nos padrões fitossociológicos da vegetação num ambiente natural podem indicar alteração da composição do solo ou o incremento de algum poluente.

O uso do biomonitoramento pode revelar em alguns casos não só o tipo de poluente, mas também o nível mínimo de sua concentração no solo. No caso do Chumbo (Pb), experimentos com *Rosa rugosa* realizados por Calzoni et all na Itália demonstram que o excesso de chumbo no solo pode prejudicar a qualidade dos grãos de polens produzidos pelas plantas, prejudicando sua reprodução e tornando os embriões formados inviáveis²⁴. Certamente a poluição dos solos não afeta apenas plantas, mas em virtude de sua intensa necessidade de absorção de nutrientes via solo elas estão numa posição vulnerável em relação a esses poluentes, que encontram na sua acumulação nos tecidos vegetais uma porta de entrada nas cadeias alimentares. Outros seres vivos também são prejudicados, como bactérias, fungos e invertebrados terrestres. Ao afetar a biota dos solos, os poluentes podem tornar o solo impróprio para agricultura, tornando-o praticamente estéril, o que representa um desperdício de recursos em termos de agricultura e a área perde praticamente todo seu poder de uso. Inúmeras substâncias orgânicas também podem afetar de maneira irreversível a utilização de grandes áreas para moradia ou mesmo agricultura, além de prejudicar drasticamente a paisagem e os ecossistemas locais.

No tocante à questão solo é importante salientar que, dependendo do poluente e do tipo de solo em questão, a carga poluidora é de fundamental importância na determinação dos efeitos deletérios às plantas, animais e à saúde humana. A CETESB definiu uma série de valores que servem de guia para determinar ações de controle sobre a poluição do solo. Os principais valores definidos são:

Valor de Referência de Qualidade - VRQ é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea.

Valor de Prevenção – VP é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea, é usada para disciplinar a introdução de substâncias tóxicas no solo e, quando ultrapassado, a continuidade de atividade será submetida à nova avaliação.

Valor de intervenção – VI é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico.

A determinação de tais valores deve respeitar as especificidades dos solos de cada região, necessitando-se de estudos e ensaios preliminares para realização destes. A adoção de um padrão de valores pode facilitar muito a gestão e a caracterização da contaminação ou risco de contaminação do solo por atividades industriais ou agrícolas; aliada ao uso de bioindicadores específicos, pode fornecer metodologias práticas e dinâmicas para uma avaliação rápida da

qualidade do solo e sua contaminação, a exemplo do que já acontece para a água. No entanto é necessário que se desenvolvam estudos para determinar o tipo mais adequado de organismo biomonitor a ser utilizado, seus parâmetros de análise e sua sensibilidade ao agente poluidor. Com base em tais estudos seria possível determinar protocolos de análises rápidas que podem ser executados para determinar locais prioritários para análise mais acurada da situação de contaminação. Assim, o biomonitoramento da qualidade do solo serve como um método de triagem para determinar zonas de risco a serem avaliadas com maior cuidado.

3- JUSTIFICATIVA

A poluição (seja ela do ar, solo ou água) tem provocado inúmeros problemas ao ambiente e às populações. Para o adequado gerenciamento dos recursos naturais à definição de políticas ambientais mais adequadas e execução de fiscalização eficiente, é necessário monitorar o ambiente.

Existem dois tipos básicos de monitoramento ambiental: O físico-químico e o biomonitoramento.

O monitoramento físico-químico é utilizado para medidas diretas das concentrações de poluentes no ambiente. Esse tipo de monitoramento é bastante eficiente e preciso, mas é também oneroso e limitado no tocante à percepção de parâmetros temporais e sinecológicos. O monitoramento físico-químico fornece somente medidas imediatas e locais, não nos permite estimar os efeitos cumulativos nem permite avaliar o efeito dos poluentes sobre as cadeias alimentares e seus efeitos sobre os seres vivos. Além de ser um método extremamente oneroso, uma vez que necessita de uma gama de equipamentos e insumos custosos e de técnicos bem treinados para a interpretação de seus resultados.

O Biomonitoramento se mostra mais eficiente no monitoramento ambiental quando se trata de avaliar os impactos da acumulação dos poluentes e seu fluxo através das cadeias alimentares, bem como seus efeitos cumulativos e sinecológicos. Ele é bem didático, uma vez que visualizar o efeito de um poluente sobre os organismos nos dá uma visão mais imediata dos efeitos de um poluente sobre a fisiologia e a saúde dos seres vivos. No entanto, exige que se realize uma série de estudos básicos para determinar os parâmetros e comportamentos dos biomonitores e mesmo o estado de conservação em locais similares, mas não atingidos pelos poluentes. No caso do Brasil e da maioria dos países em desenvolvimento, essa técnica tem se mostrado eficiente e bem menos custosa do que os métodos físico-químicos, mas apresenta certa limitação em função de nosso país ainda ter muitas lacunas no conhecimento da ecologia de inúmeros ecossistemas e mesmo no comportamento e ecologia e fisiologia de espécies potencialmente utilizáveis como biomonitores. A aplicação de recursos em estudos básicos para determinar o estado de conservação dos ecossistemas é urgente e necessária para que se possa no futuro instalar um sistema de biomonitoramento eficiente.

Este estudo procura demonstrar a importância dos biomonitores e fornecer uma base para estudos mais detalhados que possam criar um arcabouço teórico para a construção de redes de biomonitoramento por parte dos órgãos de fiscalização ambiental.

4- PROBLEMA

Como monitorar de maneira eficiente e com custos reduzidos através do uso de organismos biomonitores a qualidade ambiental e detectar poluentes específicos, aplicando esses métodos e conhecimentos no gerenciamento ambiental?

5- HIPÓTESES

Com o presente trabalho pretendemos demonstrar a aplicabilidade do uso de biomonitoramento na gestão e fiscalização dos recursos naturais, para tanto realizaremos uma compilação das metodologias já utilizadas e tentaremos demonstrar sua aplicabilidade e eficiência para os usos referidos acima. As hipóteses a serem testadas são:

- 1) O Biomonitoramento se constitui em método eficiente para identificação, controle e fiscalização de problemas ambientais (poluição);
- 2) É possível instituir uma rede eficiente de monitoramento utilizando diversos organismos biomonitores.
- 3) Qual a importância da realização de biomonitoramento de água, ar e solo conjuntamente como forma de avaliação de impactos ambientais e identificação de poluentes específicos.

6- OBJETIVOS

- Identificar os principais métodos de biomonitoramento ambiental.
- Definir a relevância de tais métodos para o controle da qualidade dos recursos água, ar e solo.
- Sistematizar os conhecimentos acerca das diferentes técnicas de biomonitoramento para tornar esse conhecimento disponível a instituições, pesquisadores e à sociedade em geral, ajudando assim no diagnóstico de problemas ambientais e na gestão adequada dos recursos ambientais.
- Contribuir para a conscientização da comunidade científica e da população em geral acerca dos problemas ambientais e possivelmente propor mecanismos de gestão ambiental mais adequados e saudáveis.

7- METODOLOGIA

Para realização da pesquisa os dados serão coletados das seguintes fontes:

- Materiais bibliográficos: pesquisas, anais de simpósios, teses de mestrado e doutorado disponíveis nas bibliotecas de instituições de pesquisa e ensino, artigos de periódicos especializados e fontes eletrônicas.

Os dados coletados serão analisados e sua metodologia será catalogada e correlacionada com o organismo biomonitor utilizado, de modo que ao final teremos tabelas relacionando as principais metodologias com os organismos utilizados e a alteração ambiental à qual se referem (tabelas 1 e 2).

A tabela 1 mostra um levantamento preliminar, incluindo os seres vivos já utilizados em biomonitoramento com um certo sucesso por instituições de pesquisa e ou monitoramento / fiscalização ambiental e qual sua aplicação e o método que é utilizado.

A tabela 2 mostra resumo dos tipos de organismos aplicados em biomonitoramento e sua possível resposta a algumas alterações ambientais.

A figura 1 mostra uma planta de *Nicotiana Tabacum* exposta a ozônio na região metropolitana de São Paulo, na qual podemos ver o efeito do ozônio sobre as folhas.

Tabela 1: Seres vivos utilizados em biomonitoramento de poluição.

Organismos	Aplicação	Efeito perceptível.
Macroinvertebrados aquáticos. (larvas de insetos, moluscos, oligoquetos, hirudíneos e crustáceos).	Avaliação da qualidade da água ⁶	Tornam-se dominantes em determinadas condições ambientais ou desaparecem em presença de poluente.
<i>Tradescântia</i> , <i>N. Tabacum</i> (Var. Bel-B e BelW-3),	Avaliação da qualidade do ar.	Avaliação da acumulação de elementos químicos (Flúor ou enxofre) ou surgimento de áreas com clorose em folhas.
Líquens briófitas	Avaliação da qualidade do ar.	Ausência indica ambiente poluído.
	Avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas florestais.	
Fanerógamas: <i>Tibouchina pulchra</i>	Avaliação da contaminação do solo e do ar, e deposição de poluentes no solo.	Apresenta aumento da dominância relativa em mata com stress por poluentes atmosféricos e edáficos ¹⁸ .
Fanerógamas: <i>Rosa Rugosa</i> ²⁴	Avaliação do nível de contaminação do solo por metais pesados (Pb e Cr)	Apresenta inviabilidade e abortividade de grão de polens em solos poluídos.
Fanerógamas: <i>Tradescântia pallida</i> ²⁵	Avaliação da poluição atmosférica por O ₃ , nível de poluição por radiação ionizante e poluição eletromagnética.	Mutagênese na cor dos estames e presença de aberrações cromossômicas em grãos de pólen e outras células dos estames.
Fanerógamas: Couve ²⁶	Avaliação da concentração de hidrocarbonetos e Ozônio na atmosfera.	Presença de clorose e deformidades nas folhas.

Tabela 2: Tipos de organismos aquáticos e respostas a diferentes tipos de estresse antrópico.

Táxon ou grupo de seres vivos:	Alteração ambiental	Resposta provável:
Macroinvertebrados bentônicos coletores	Enriquecimento orgânico	Aumento no número de indivíduos. ¹
Macroinvertebrados bentônicos raspadores.	Saída de nutrientes no sistema	Aumento na proporção de raspadores na comunidade.
Oligochaeta (<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Potomothrix hammoniensis</i> e <i>Tubifex tubifex</i>)	Indica poluição orgânica e queda no nível de oxigênio dissolvido na água.	Abundância de diferentes espécies (principalmente da família Tubificidae).
Hirudíneos (Sanguessugas)	Indica alto índice de poluição orgânica. Indica pH acima de 5,5.	Dominância relativa e elevado número de espécies.
Insetos (Díptera, principalmente Chironomidae).	Indica poluição química de origem industrial ou agrícola, radioatividade ou acidificação e possivelmente metais pesados.	Aumento no número de indivíduos (larvas) e presença de deformidades em muitos indivíduos.
Cnidários (<i>Hydra attenuata</i>) ²⁰		
Cladóceros (<i>Daphnia magna</i> e <i>Daphnia similis</i>) ^{20, 21} .	Presença de metais pesados	Aumento no número de indivíduos de espécies tolerantes.
Algas (<i>Selenastrum capricornutum</i>) ²⁰		
Allium cepa ²⁰		
Nematódeos ²¹	Poluição por matéria orgânica	Aumento da densidade.
Bivalves ²¹	Poluição por matéria orgânica, aumento da DBO, abaixamento do PH.	Desaparecimento de espécies.
Libélulas (odonatos) ²¹	Águas poluídas.	Ausência de larvas.
Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera ²⁷ .	Águas limpas.	Não suportam poluição, sua presença atesta a qualidade das águas.



Figura 1: Planta de *Nicotiana Tabacum* afetada pela poluição atmosférica.

REFERÊNCIAS

- 01 – DALY, Hermam. Economista, Banco Mundial Citado em “*Science*”, 17 de junho de 1988, p. 1611.
- 02 – MANDAVILLE, S. M. (2000). **Bioassessment of Freshwaters using Benthic Macroinvertebrates – a Primer.** In: <http://www.chebucto.ns.ca/sciense/SWCS.html>, acesso dia 24/06/06 as 22h.
- 03 – LANNA, ANTONIO E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos.** – IBAMA. 1995 *Coleção meio ambiente.*
- 04 – BRITO ETL ALL, LUIZA T. DE L. **Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre.** – *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.09, n.4, p.596-602,2005. <http://www.agriambi.com.br>, Acesso dia 10/07/06 as 14h e 30 min.
- 05 – DOMINGOS, Marisa. **Biomonitoramento da fitotoxicidade da poluição aérea e da contaminação do solo na região do complexo industrial de Cubatão, São Paulo, utilizando *Tibouchina pulchra* Cogn. Como espécie indicadora.** Tese de doutoramento, IB-USP. São Paulo, 1998.
- 06 – DORNFELD, Carolina Buso. “**Utilização de análises limnológicas, bioensaio de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)**”. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2002.
- 07 – GRASSI, Marco Tadeu. **As águas do planeta terra.** *Cadernos temáticos de Química Nova na Escola.* Edição Especial, Maio 2001.
- 08 – BUSS, Daniel Forsin; BATISTA, Darcílio Fernandes; NESSIMIAN, Jorge Luiz. **Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios.** In: *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 19(2): 465-473. Mar-abr, 2003.
- 09 – BAKONYI, Sonia Maria Cipriano et al. **Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR.** *Revista de saúde pública.* 2004 – www.fsp.usp.br/rsp acesso em 17/julho/2006 as 19h.
- 10 – MEDEIROS, Andréa; GOUVEIA, Nelson. **Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no Município de São Paulo.** *Revista de saúde pública.* 2005 – www.fsp.usp.br/rsp acesso em 22/agosto/2006 as 23h.
- 11 – RUDDMAN, Willian F. **A mão do homem.** *Scientific American Brasil*, n. 12,

- 12 – CORSON, Wlater H. et al. **Manual global de ecologia**. 2ª ed- Editora Augustus, 1996.
- 13 – WRI and IIED. **World resources**, 1988-1989, pp 109-11; EIA, *Annual Energy Review* 1987, pp 253,265.
- 14 – PAOLIELO, Mônica. **Valores de referência para plumbemia em população urbana**. *Revista de saúde pública*, Vol 31 (2), pp144-8, 1997.
- 15 – MARTINS, Leila Droprinchiski (2002): **Estimativa do impacto das emissões de hidrocarbonetos pela vegetação na formação de oxidantes fotoquímicos em São Paulo**. Tese de Mestrado – IAG – USP – São Paulo – SP.
- 16 – CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Decisão de diretoria N° 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. In www.cetesb.br acesso dia 01/10/06 às 21h.
- 17 – WOWK, Gisele I. T. H; MELO, Vander de F. **Avaliação do nível de chumbo, em solo de várzea, proveniente da reciclagem de baterias**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.613-622 – Campina Grande – 2005, <http://www.agriambi.com.br> acesso em 2/07/06 as 17h.
- 18 – VIVEIROS, Solange C. Mazzoni; TRUFEM, Sandra F.B. **Efeitos da poluição aérea e edáfica no sistema radicular de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) em área de Mata Atlântica: associações micorrízicas e morfologia**. *Revista Brasileira de Botânica*, V.27, n.2, p.337-348, abr-jun.2004.
- 19 – FIALHO, Rodrigo Coelho. **Acumulação foliar de fluoretos e seu significado ecológico, em espécies arbóreas da Mata Atlântica, Cubatão, SP**. Dissertação de mestrado, IB-USP. São Paulo 1998.
- 20 – JARDIM, Gláucia Maria. **Estudos ecotoxicológicos da água e do sedimento do rio Corumbataí, SP**. Dissertação de mestrado – ESALQ – USP. Piracicaba, 2004.
- 21 – MONKOLSKI, Alexandre et all. **Invertebrados bênticos como indicadores de qualidade da água do Rio dos Papagaios – Campo Mourão – PR**. *Sábios: Ver. Saúde e Biol, Campo Mourão*, V.1, n. 1, 2006. In: <http://www.revista.grupointegrado.br/sabios/> acesso em 15/12/2006 às 14:00h.
- 22 – **Macroinvertebrate Ecology**.
- 23 – SÁ, Michele Ullrich de et All. **Potencial Mutagênico das águas do canal São Gonçalo, Pelotas, RS**. *Resumos do XIV Congresso de Iniciação Científica*. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas –RS, 2006.
- 24 - CALZONI, Gian Lorenzo et All. **Active biomonitoring of heavy metal pollution using *Rosa rugosa* plants**. *Environmental pollution*. Artigo aceito para publicação. <http://www.sciencedirect.com/science> acessado em 23/02 às 14h
- 25 – CARVALHO, Heloisa de Andrade. **A tradescantia como bioindicador vegetal na monitoração dos efeitos clastogênicos das radiações ionizantes**. Artigo de revisão. *Radiol. Brás.* 2005; 38(6) pág. 459-462. acessado em : <http://www.scielo.br/pdf/rb/v38n6/27224.pdf>, dia 23/03/2007 às 15:13h.
- 26 - KLUMP et All. **Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet)**. *Revista Brasileira Botânica*. São Paulo, V.24, n4 (suplemento), p.511518, dez. 2001
- 27 – VOSHELL, Jr., J. Reese. **A guide to freshwater invertebrates of North América**. *Mc Donald & Woodward publishing Co*. Blacksburg, VA. P. 2-12. 2002.